

CO2 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業報告

—製造プロセスの省エネルギー化による CO2 低排出型陶磁器製造技術の開発・実証—

西村正彦*, 新島聖治*, 林 茂雄*, 橋本典嗣*, 稲垣順一*, 松田英樹*,
谷口弘明*, 松岡敏生**, 野中 寛***, 中井毅尚***, 浅岡史郎****,
伊藤弥彦*****

Report of Guided Technology Development and Demonstration Project for Strengthening Measures to Reduce CO2 Emissions

- Development and Demonstration of Ceramics Manufacturing Processes with Reduced CO2 Emissions Achieved by Saving Energy in the Manufacturing Process -

Masahiko NISHIMURA, Seiji NIJIMA, Shigeo HAYASHI, Noritsugu HASHIMOTO,
Jun-ichi INAGAKI, Hideki MATSUDA, Hiroaki TANIGUCHI, Toshio MATSUOKA,
Hiroshi NONAKA, Takehisa NAKAI, Shiro ASAOKA and Yahiko ITO

1. はじめに

環境省平成 30 年度 CO2 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業（二次公募）に、三重県工業研究所窯業研究室、国立大学法人三重大学、浅岡窯業原料株式会社、有限会社泰成窯の提案課題が採択された。本事業は、CO2 排出削減量の拡大及び地球温暖化対策コストの低減を促すとともに、当該技術が社会に広く普及することにより、低炭素社会の創出に資する取組である。採択課題名は製造プロセスの省エネルギー化による CO2 低排出型陶磁器製造技術の開発・実証である。課題の概要・目的は陶磁器・セラミックス製品が、その製造工程において乾燥・焼成などに多くのエネルギーを必要とし、多量の CO2 を排出しているため、本事業では、製造工程の簡略化のためのバイオマス由来原料と陶磁器素材の複合化および本焼成温度の低温化のための各種陶磁器素材の開発により、陶磁器の焼成プロセスの CO2 排出量を 40%削減する技術開発・実証を行う。本事業は、陶磁器製造業を実証企業とし、公設試と大学が連携し、三重県の四日市萬古焼をモデルに CO2 低排出型陶磁器産地の創出を行い、低炭素社会の実現を目指すものである。本技術を陶磁器産業が集積する中部圏、更には全国へと普及させることにより、新規市場・雇用の創出、地域の活性化を目指す。

2. 事業の実施状況

2. 1 実施体制及びシステム構成

燃料使用量を大幅に削減した CO2 低排出型陶磁器製造プロセスの社会実装を図るため、要素技術(低温焼成化技術・素焼きレス化技術)の技術開発を進めるとともに、2 つの要素技術の統合について検討した。事業の実施体制を図 1 に、本事業で提案する陶磁器製造プロセスの省エネルギー化による CO2 排出量削減のシステム図を図 2 に示す。

2. 2 平成 30 年, 31 年度の事業の成果

(1) 低温焼成陶磁器素材の開発

磁器については、すでに三重県は 1150 °C 以下で焼成する製造技術に関して特許(特許第 5083971 号)を取得している。本事業では、その特許技術を陶器製造プロセスに応用し、省エネ・低 CO2 排出の陶器焼成技術の開発を目指している。平成 30 年度は、

* 窯業研究室
** プロジェクト研究課
*** 三重大院生物資源学研究所
**** 浅岡窯業原料(株)
***** (有)泰成窯

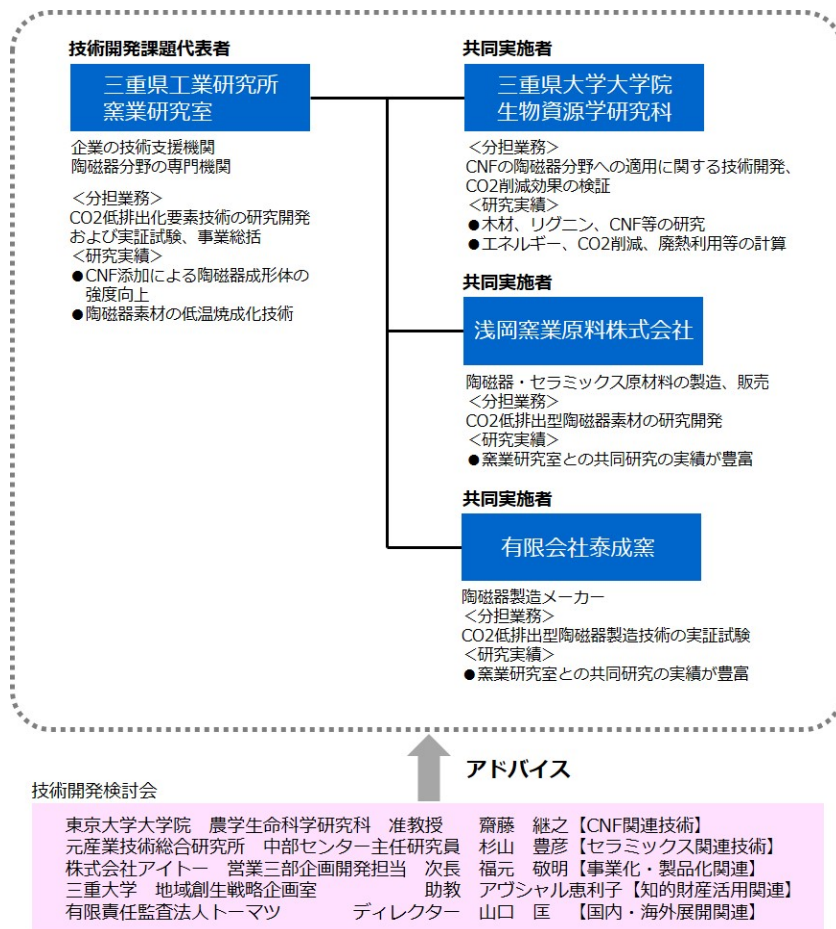


図1 本事業の実施体制図

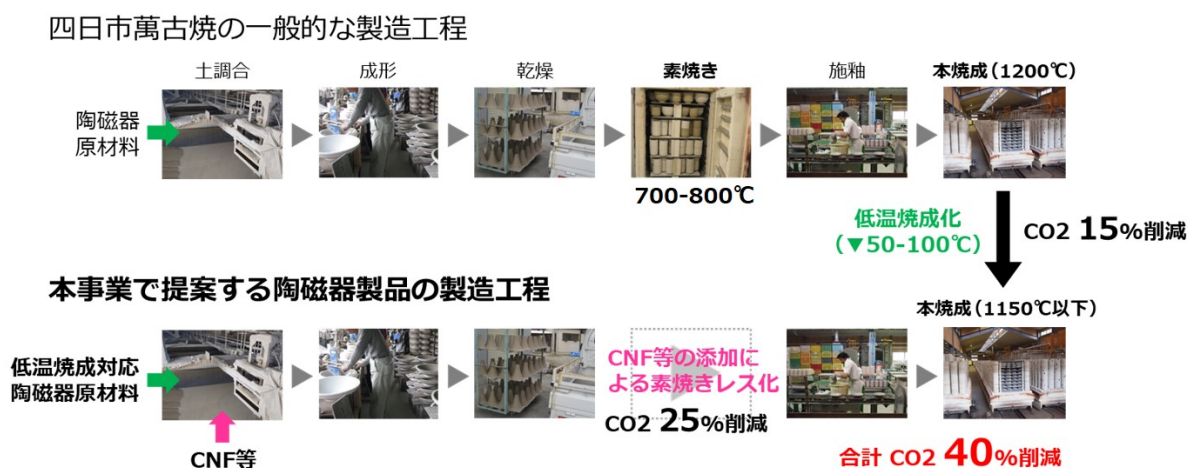


図2 本事業で提案するシステム図

1150 °C 以下で製造可能な耐熱陶器，紫泥急須の低温焼成化素地調合をラボレベルで開発した¹⁾。平成31年度は，1150 °C 以下で製造可能な食器や花器等

の一般的な萬古焼陶器の低温焼成化素地調合をラボレベルで開発することに取り組んだ。具体的には以下の作業を実施した。

① 1150 °C 以下の焼成温度で、下記の物性（従来と同程度）を有する陶器の素地調合をラボレベルで確立する。かさ密度：2.0 g/cm³ 以下，吸水率：7 %以下，強度：40 MPa 以上

② 陶器の低温焼成化について、熔融剤等（長石等）の助剤が素地物性（熱膨張，吸水率，かさ密度，機械的強度等）に及ぼす影響について電子顕微鏡等を用いて明らかにし，成形性の評価をする。

その結果，石灰石 15 wt.%－長石類 42 wt.%－粘土 43 wt.%の素地で，目標とする物性を有する素地調合が得られた（かさ密度 2.0 g/cm³ 以下，吸水率 7 %以下，曲げ強度 40 MPa 以上）。得られた陶器素地断面の電子顕微鏡写真では，石灰石の分解時に生じたと思われる気孔が多数見られ，同時に十分に焼結が進んだ骨格構造が確認できた。この微細構造により，軽量かつ高強度な陶器素地が得られたと考えられる。開発した陶器素地は，粘土を 43 wt.%含有しており，成形性に問題がないことを確認した²⁾。

(2) 低温焼成陶磁器製造を素焼きレス化するためのセルロースナノファイバー（CNF）最適添加量の検討

平成 30 年度は，低温焼成磁器について，主として市販の CNF であるレオクリスタ[®]を用いて検討を行い，1 %添加で強度 5 MPa となることを明らかにした。また，市販の CNF である BiNF_i-s[®] CMC とセレンピア[®] TC-02X 短繊維が 0.5 %添加で 5 MPa を超えることを明らかにし，混練する CNF として，BiNF_i-s[®] CMC 等の CNF 化 CMC が有望と考えられた¹⁾。平成 31 年度は，平成 30 年度に開発した低温焼成耐熱陶器，低温焼成紫泥急須素材に，CNF 化 CMC 等を添加し，強度 5 MPa に達する必要最小量（最適添加量）を明らかにすることに組み込んだ。

その結果，低温焼成磁器および耐熱陶器については，CNF 化 CMC を固形分で 0.5 wt.%添加することにより，乾燥体強度は 5 MPa 以上となった。一方，低温焼成紫泥急須は，CNF 化 CMC を添加しない場合でも 5 MPa 以上の強度を示した。これは，他の低温焼成陶磁器素材と比較して，粘土含有量が多く，粘土粒子による乾燥強度の発現が顕著になったためと考えられる。なお，低温焼成紫泥急須に CNF 化 CMC を添加することによる強度向上を確認しており，0.5 wt.%の添加で乾燥体強度は 9 MPa 以上となった²⁾。

(3) 素焼きレス化技術の実用化

平成 30 年度は，CNF 添加による素焼きレス化技術の可能性を明らかにした¹⁾。平成 31 年度は素焼きレス化技術の実用化に向けて，技術面（鑄込み成形技術を確認し，汎用性を高める.），コスト面（より安価な素材の可能性を検討する.）からの検討に取り組んだ。

具体的には以下の作業を実施した。

① CNF 等を添加した坯土の鑄込み成形技術（スラリーの調製等）の確立。

② CNF 等の添加による強度メカニズムを解明し，CNF 添加と同様の効果が得られる，より安価な素材の可能性を検討。

その結果，平成 30 年度添加を検討した化学変性 CNF，機械解繊 CNF について，pH 変化やドライ CNF パウダーの採用により混練を改善し，添加量削減を目指したが，むしろ強度が下がることがわかった。低温焼成磁器土に CNF を混ぜた成形体の強度に関して，等価介在物理論を適用した理論解析を行い，機械解繊 CNF は，土マトリックス中で親和性の低いフィラーとして浮くように存在し，大きな強度向上には寄与しにくいことがわかった。機械解繊 CNF より安価かつ粗大で土粒子をマクロに架橋する可能性があるセルロース繊維，CNF 化 CMC より安価で水溶性の HPMC（ヒドロキシプロピルメチルセルロース），CMC の添加を試みたところ，CMC が CNF 化 CMC を超える強度を発現し，コストを 1/1000 程度に低減できることがわかった。本技術の実用化には，量産のために行われる鑄込み成形法に適用できるかがポイントとなる。CNF を添加したスラリーは高粘度になり，やや含水率を高くする必要があったものの，鑄込み成形が可能で，成形体の強度が向上することがわかった。また使用する分散剤の種類によっても強度が変わることを明らかにするとともに，CMC を鑄込み成形に添加する場合の課題を抽出した²⁾。

(4) CO₂ 低排出型陶磁器製造技術の実証および CO₂ 削減効果の検証

平成 30 年度は，低温焼成磁器にレオクリスタ[®]を 1 %添加した商用レベル(150～200 kg 程度)の坯土を用い，成形から焼成までの一連の流れでの検証を行った結果，CNF 添加による成形性等への影響はなく，削り加工性の向上や乾燥切れの抑制という利点を明らかにした。また，製造工程へのエネルギーの追加はなく，本事業で提案する製造プロセスの省エネルギー

ギー化による CO2 排出量削減効果は 38 %であった。平成 31 年度は、平成 30 年度に基礎調査を確立した低温焼成陶磁器素材（耐熱陶器，紫泥急須）について商用レベルの素地を開発すると共に，CNF を添加した低温焼成陶磁器素材（磁器，耐熱陶器，紫泥急須）を対象として，製造時の CO2 削減効果の検証に取り組んだ。

具体的には以下の作業を実施した。

- ① 磁器，耐熱陶器および紫泥急須について，CNF 等を添加し，商用レベル(150~200 kg 程度)にスケールアップさせた際の課題を抽出し，その解決策を提示する。
- ② 素焼き工程の省略，本焼成温度の低温化による影響（成形性，作業時間等）を検証する。
- ③ CNF 添加低温焼成陶磁器素材（磁器，耐熱陶器，紫泥急須）の製造プロセスにおける CO2 排出量削減効果を検証する。

その結果，CNF 化 CMC 添加坯土作製では，製造現場での課題はなく，従来の坯土製造プロセスが適用できることがわかった。これら坯土を用いた陶磁器製品の製造では，成形性や作業性（脱型性，加工性，乾燥切れ）に支障がないことを確認した。施釉性に関しては，土鍋等の大型製品の場合に施釉道具（トング等）で強く挟むと素地に傷が付くなどの課題が抽出された。この課題については，スプレーによる施釉や道具を使わず手で掴み施釉することで対応可能であることがわかった。また，容量 0.5 m³ のガス炉で，燃料としてプロパンガスを使用した場合，素焼きレス化と低温焼成化により，CO2 排出量削減率は 41.7 %であった²⁾。

3. まとめ

技術開発検討会，CO2 排出削減対策技術評価委員会及び分科会の委員の意見を参考にし，燃料使用量を大幅に削減した CO2 低排出型陶磁器製造プロセスの社会実装の積極的な推進を図るため，次年度は次の内容に取り組む予定である。

(1) CNF 等の活用による素焼きレス化技術の開発について

平成31年度までの成果を活用し，素焼きレス化技術の実用化に向けて，技術面，コスト面からの検討

を行う。

【目標】

- ・CNF等添加による強度向上メカニズムの解明を行う。
- ・安価なCNF代替素材CMCを添加した実用的なスラリーを開発する。

(2) CO2 低排出型陶磁器製造技術の実証および CO2 削減効果の検証について

平成 31 年度までの各要素技術の検証成果を統合し，製造プロセス，製造環境，設備面での CO2 排出量削減効果を実証する。

【目標】

- ・平成 31 年度開発の低温焼成陶器について，商用レベルにスケールアップさせ，CO2 低排出型陶磁器製造技術の実証および CO2 削減効果の検証を行う。
- ・CO2 低排出型陶磁器製造技術導入による陶磁器の感性的要素（手触り・光沢・風合い等）への影響を検証する。
- ・三重県内の伊賀焼でのトライアルを行い，他産地への普及の課題抽出を行う。

(3) 普及計画・事業化計画の策定について

CO2 低排出型陶磁器製造技術導入に向けてコスト面（燃料削減，人件費，材料費，歩留まり，操業時間等），環境面からの事業化戦略の検討を行う。

謝辞

本事業は，環境省より委託を受けて実施したものであり，事業遂行に当たり貴重なご助言を頂けたことに感謝いたします。また，事業遂行に当たりご指導ご鞭撻頂いた，プログラムオフィサー及び技術開発検討会委員に厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 三重県工業研究所窯業研究室ほか：“製造プロセスの省エネルギー化による CO2 低排出型陶磁器製造技術の開発・実証”。平成 30 年度 CO2 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業報告書
- 2) 三重県工業研究所窯業研究室ほか：“製造プロセスの省エネルギー化による CO2 低排出型陶磁器製造技術の開発・実証”。平成 31 年度 CO2 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業報告書